

T S1/9/ALL FROM 347

1/9/1 (Item 1 from file: 347)

DIALOG(R)File 347:JAPIO

(c) 2004 JPO &amp; JAPIO. All rts. reserv.

05821225 \*\*Image available\*\*

MAXIMUM CHARGE/DISCHARGE POWER OPERATION METHOD OF BATTERY

PUB. NO.: 10-104325 [JP 10104325 A]

PUBLISHED: April 24, 1998 (19980424)

INVENTOR(s): TSUJI TADASHI

SODENO TSUYOSHI

APPLICANT(s): NISSAN MOTOR CO LTD [000399] (A Japanese Company or Corporation), JP (Japan)

APPL. NO.: 08-258587 [JP 96258587]

FILED: September 30, 1996 (19960930)

INTL CLASS: [6] G01R-031/36; H01M-010/42; H02J-007/00

JAPIO CLASS: 46.2 (INSTRUMENTATION -- Testing); 42.9 (ELECTRONICS -- Other)

## ABSTRACT

PROBLEM TO BE SOLVED: To calculate the maximum charge/discharge power of a battery accurately even if, for example, an electric car is running at a constant speed or begins to run.

SOLUTION: A characteristic formula  $Wh(P)$  or  $Wh-P$  characteristic table that is a correlation between the amount of discharge power and the maximum discharge power of a battery 11 is calculated in advance, and the maximum discharge power or the maximum charge power is calculated based on the correlation and the integrated amount of discharge power. Especially, the above correlation is corrected by a temperature correction coefficient that is obtained by calculation based on a temperature  $T$  of the battery 11 and a deterioration correction coefficient that is obtained by calculation based on the deterioration of the battery 11, thus calculating the maximum discharge power and the maximum charge power accurately.

?

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-104325

(43)公開日 平成10年(1998) 4月24日

(51)Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

G 0 1 R 31/36

G 0 1 R 31/36

A

G

H 0 1 M 10/42

H 0 1 M 10/42

P

H 0 2 J 7/00

H 0 2 J 7/00

B

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 12 頁)

(21)出願番号

特願平8-258587

(22)出願日

平成8年(1996) 9月30日

(71)出願人 000003997

日産自動車株式会社

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地

(72)発明者 辻 匡

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産

自動車株式会社内

(72)発明者 袖野 強

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産

自動車株式会社内

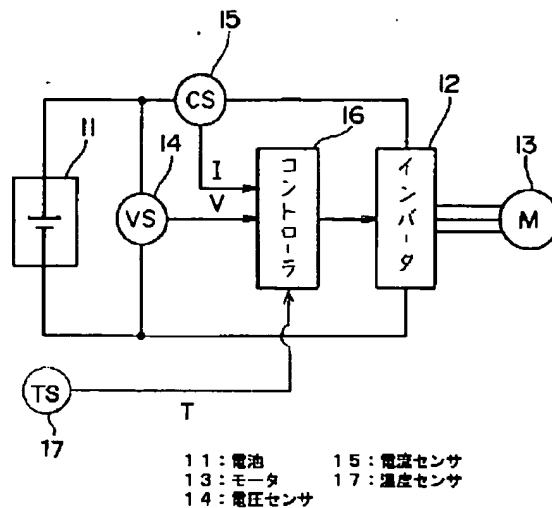
(74)代理人 弁理士 永井 冬紀

(54)【発明の名称】 電池の最大充放電電力演算方法

(57)【要約】

【課題】電気自動車等の電気車が一定速走行時や走行開始時であっても、精度良く電池の最大充放電電力を算出することができる最大充放電電力演算方法の提供。

【解決手段】電池11の放電電力量と最大放電電力との相関関係である特性式 $W_h(P)$ または $W_h-P$ 特性テーブルを予め算出しておき、その相関関係と放電電力積算量に基づいて、最大放電電力や最大充電電力を算出する。特に、前記相関関係を電池11の温度 $T$ に基づいて算出した温度補正係数および電池11の劣化に基づいて算出した劣化補正係数により補正することにより、最大放電電力や最大充電電力を精度良く算出することができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 放電電力積算量および予め算出された電池の放電電力量と最大放電電力との相関関係に基づいて、最大放電電力および最大充電電力の少なくともいずれかを算出することを特徴とする電池の最大充放電電力演算方法。

【請求項2】 請求項1に記載の最大充放電電力演算方法において、前記相関関係を、電池の温度に基づいて算出した温度補正係数および電池の劣化に基づいて算出した劣化補正係数により補正したことを特徴とする電池の最大充放電電力演算方法。

【請求項3】 予め算出された電池の放電電力量と最大放電電力との相関関係および電池の端子電圧値と電流値とに基づいて算出される実最大放電電力に基づいて演算放電電力量を算出し、前記端子電圧値および電流値に基づいて積算される放電電力積算量と前記演算放電電力量とに基づいて第3の放電電力量を算出し、前記相関関係と前記実効放電電力量とに基づいて最大放電電力および最大充電電力の少なくともいずれかを算出することを特徴とする電池の最大充放電電力演算方法。

【請求項4】 電気車用電池の出力制御方法において、請求項1～3のいずれかに記載の最大充放電電力演算方法により算出された最大放電電力に基づいて、放電中の電池端子電圧が車両システムの放電停止電圧以上または回生中の電圧が許容最大電圧以下となるように制御することを特徴とする電気車用電池の出力制御方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電池の最大充放電電力演算方法に関する。

$$P_{\max} = V_{\min} \cdot I_{\max} = V_{\min} \cdot (E_0 - V_{\min}) / R \quad \cdots (2)$$

で得られる。一方、最大充電電力  $PC_{\max}$  は、

$$PC_{\max} = V_{\max} \cdot I_{C\max} = V_{\max} \cdot (E_0 - V_{\max}) / R \quad \cdots (3)$$

で得られる。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところで、精度の良い回帰演算が行われるためには、広い電流範囲にわたってサンプリングデータが得られる必要がある。すなわち、図16(a)に示すようにIおよびVが変化する走行パターンであれば、図16(b)のようなサンプリングデータが得られ回帰直線L10を得ることができる。しかしながら、一定速走行時や走行開始時には電池の放電電力に適当な変動がなくIおよびVの変動は図17(a)のようになる。そのためサンプリングデータは放電電流Iに関して狭い範囲のデータしか得られず、このような場合には回帰直線を得ることができないという欠点があった。

【0005】本発明の目的は、電気自動車等の電気車が一定速走行時や走行開始時であっても、精度良く電池の

## 【0002】

【従来の技術】電気自動車等の電池の放電電力および充電電力は、それぞれ最大放電電力および最大充電電力以下となるように制御される。これらの最大放電電力および最大充電電力を算出する際に、次のような演算方法で算出することが提案されている。従来、ある種の電池（例えば、リチウムイオン電池やニッケル水素電池）では電池の放電深度（以下、DOD (Depth of Discharge) と呼ぶ）が浅い状態（0～60%）では充電時と放電時の内部抵抗がほぼ一致するとともに、充放電時のV-I特性の直線性がよい。そのため、放電中に測定された端子電圧Vおよび放電電流Iに基づいてI-V特性を直線回帰演算することができ、さらに回帰直線を充電側および放電側に延長することができる。図15はこの演算方法を説明する図であり、放電中の電池のI、Vをサンプリングし、そのサンプリングデータから得られた回帰直線を示したものである。図15では、上述した理由により回帰直線を充電側に延長して示している。図中の×印はサンプリングデータを表しており、放電中に測定された端子電圧Vおよび放電電流Iに基づいてI-V特性を直線回帰演算する。

【0003】回帰直線は、次式(1)で表わすことができる。

$$【数1】 V = E_0 - I \cdot R \quad \cdots (1)$$

ここで、V軸切片  $E_0$  は電池の開放電圧を表わし、回帰直線の傾きが電池の内部抵抗Rを表わす。回帰直線と充電時の許容最大電圧  $V_{\max}$  との交点Aの電流  $I_{C\max}$  は充電許容値を与え、一方、放電時の放電停止電圧  $V_{\min}$  との交点Bの電流  $I_{\max}$  は放電許容値を与える。そして、最大放電電力  $P_{\max}$  は、式(1)より

## 【数2】

## 【数3】

最大充放電電力を算出することができる最大充放電電力演算方法を提供することにある。

## 【0006】

## 【課題を解決するための手段】

(1) 請求項1の発明による最大充放電電力演算方法は、放電電力積算量および予め算出された電池の放電電力量と最大放電電力との相関関係に基づいて、最大放電電力および最大充電電力の少なくともいずれかを算出することにより上述の目的を達成する。

(2) 請求項2の発明は、請求項1に記載の最大充放電電力演算方法において、電池の放電電力量と最大放電電力との相関関係を、電池の温度に基づいて算出した温度補正係数および電池の劣化に基づいて算出した劣化補正係数により補正した。

(3) 請求項3の発明による最大充放電電力演算方法は、予め算出された電池の放電電力量と最大放電電力と

の相関関係および電池の端子電圧値と電流値とに基づいて算出される実最大放電電力に基づいて演算放電電力量を算出し、前記端子電圧値および電流値に基づいて積算される放電電力積算量と前記演算放電電力量とに基づいて第3の放電電力量を算出し、前記相関関係と前記実効放電電力量とに基づいて最大放電電力および最大充電電力の少なくともいずれかを算出することにより上述の目的を達成する。

(4) 請求項4の発明は、電気車用電池の出力制御方法に適用され、請求項1～3のいずれかに記載の最大放電電力演算方法により算出された最大放電電力に基づいて、放電中の電池端子電圧が車両システムの放電停止電圧以上または回生中の電圧が許容最大電圧以下となるように制御することにより上述の目的を達成する。

【0007】

【発明の効果】以上説明したように、(1) 請求項1の発明によれば、最大放電電力や最大充電電力を放電電力積算量および予め算出された電池の放電電力量と最大放電電力との相関関係に基づいて算出するため、例えば、パワー演算方法によって最大放電電力や最大充電電力が演算不可能な場合であっても、放電電力積算量を用いて最大放電電力や最大充電電力を算出することができる。

(2) 請求項2の発明によれば、相関関係を温度補正および劣化補正しているため、算出される最大放電電力や最大充電電力の精度の向上を図ることができる。

(3) 請求項3の発明によれば、演算放電電力量の誤差特性と放電電力積算量の誤差特性の相違に着目して算出される実効放電電力量に基づいて最大放電電力や最大充電電力を求めるようにしたので、精度の向上した演算を行うことができる。

(4) 請求項4の発明によれば、算出される最大放電電力の誤差が小さいため、放電中の電池端子電圧が車両システムの放電停止電圧以上となるおそれがない。

【0008】

【発明の実施の形態】以下、図1～図14を参照して本発明の実施の形態を説明する。本発明では、上述したように電気車が電力変動のほとんど無い一定速走行状態にあったり走行開始時に、回帰演算による最大放電電力 $P_{max}$ の演算が不可能となって最大放電電力 $P_{max}$ が求まらない場合には、以下に述べるような方法で最大放電電力 $P_{max}$ を算出する。そして、その算出値 $P_{max}$ に基づいて放電時の出力制限制御や回生充電時の回生制限制御等を行う。

【0009】図1は $P_{max}$ の算出方法を説明する図である。L1は電池の放電電力量 $Wh$ と最大放電電力 $P_{max}$ との関係を表す特性曲線であり $Wh(P)$ と表す。ここで、 $P$ は最大放電電力を表す変数であり横軸に取り、縦軸を放電電力量 $Wh(P)$ とする。この特性式 $Wh$

( $P$ )は電池の初期特性等から周知の方法により求められ、鉛酸電池、ニッケルイオン電池、 $Ni-MH$ 電池等

では $P$ の $N$ 次式(大部分は2次または3次で近似できる)で近似することができる。そこで、 $P$ の $N$ 次式で表される特性式 $Wh(P)$ の逆関数 $P(Wh)$ を求め、放電電力量 $Wh$ として常時 $I/V$ を実測積算して求められる放電電力積算量 $WhR$ を代入することによって現在の最大放電電力 $P_{max}$ を算出することができる。例えば、 $Wh(P)$ が次式(4)

【数4】

$$Wh(P) = aP^3 + bP^2 + cP + d \quad \dots (4)$$

のように $P$ の3次式で表される場合には、左辺を放電電力積算量 $WhR$ とした式(5)をニュートン法等を用いて $P$ について解くことにより放電電力量が $WhR$ であるときの最大放電電力 $P_{max}$ が得られる。

【数5】

$$WhR = aP^3 + bP^2 + cP + d \quad \dots (5)$$

ここで、係数 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ は初期電池特性から決定される。

【0010】次いで、 $P_{max}$ の第2の算出方法を説明する。この第2の方法では特性式 $Wh(P)$ を予め用意しておく代りに最大放電電力と放電電力量に関するテーブルを用意しておき、前記放電電力量として放電電力積算量 $WhR$ を用いてテーブルから直線補間計算して $P_{max}$ を算出する。このテーブルを使用する方法の場合、特性式 $Wh(P)$ を用いる方法の場合に比べて次のような利点がある。

(a) 2次や3次の方程式をニュートン法により解く場合に比べて演算時間の短縮が図れる。

(b)  $Wh(P)$ が2次または3次特性とならない場合でも、補間演算の場合には用意に対応できる。

【0011】なお、上述した2つの方法では最大放電電力 $P_{max}$ について説明したが、最大充電電力 $PC_{max}$ に関しても同様な方法で求めることができる。

【0012】図2は、電気自動車の走行駆動機構の構成を示すブロック図であり、この図を用いて上述した最大放電電力 $P_{max}$ および最大充電電力 $PC_{max}$ に基づく電気自動車の出力制御および回生制御を説明する。図2において、電池11はインバータ12に直流電力を供給し、インバータ12は直流電力を交流電力に変換して走行エネルギーを発生する。また、回生時には車両の走行エネルギーがモータ13およびインバータ12を介して電気エネルギーに逆変換され、電池11が充電されるとともに車両に回生ブレーキがかかる。電圧センサ14は電池11の両端電圧 $V$ を検出し、電流センサ15は電池11に流れる電流 $I$ を検出する。17は電池11の温度 $T$ を検出する温度センサである。なお、電流 $I$ は、モータ駆動時に電池11からインバータ12へ流れる方向を正とし、回生充電時にインバータ12から電池11へ流れる方向を負とする。コントローラ16は、電圧センサ14および電流センサ15により検出された電圧 $V$ と電流 $I$ とに基づいて、電池11の最大放電電力と最大充電電力

を演算し、演算結果に基づいてインバータ12の出力制御や回生制御などを行なう。

【0013】図3は、コントローラ16の処理を示すフローチャートである。このフローチャートにより電気自動車の出力制限制御および回生制限制御時の動作を説明する。ステップS1では、 $V$ 、 $I$ をサンプリングしてサンプリングデータを所定電流領域毎に分類してストックする。このサンプリングは所定の放電電力量範囲毎に行い、次のようにストックする。放電電流 $I$ の範囲を複数の領域に分割し、各領域ごとに所定個数のストックメモリを用意する。例えば、図4(a)に示すように放電電流の範囲を5つの領域に分割し、各領域ごとに3個ずつストックメモリを用意する。そして、所定の放電電力量範囲内において電流 $i_n$ と電圧 $v_n$  ( $n$ はサンプリング順位を示す)とをサンプリングし各電流領域毎にストックする。なお、各電流領域におけるデータが所定個数に達したら、最も古いデータを消去して最新のデータをストックする。このように各電流領域に関して所定個数までのデータしかストックしないので、特定の電流域に集中したサンプリングデータに基づく $I$ - $V$ 特性の直線回帰が避けられるとともに、コントローラ16に膨大なメモリ容量を確保する必要もなくなる。

【0014】ステップS2は、狭い電流範囲における回帰演算を防止して演算精度を上げるために3つ以上の分割電流領域にサンプリングデータがストックされているか否かを判断するステップである。図4(a)に示すように3つ以上の領域にデータがストックされていればステップS3へ進み、ストックされたサンプリングデータにより $I$ - $V$ 特性を直線回帰して電池の内部抵抗(回帰直線の傾き)および開放電圧(回帰直線の $V$ 切片)を求めステップS4へ進む。ステップS4では、ステップS3で求めた回帰直線から前述した式(2)、(3)を用いて最大放電電力 $P_{max}$ および最大充電電力 $PC_{max}$ を算出する。図4(b)は回帰直線を示す図であり、図中の番号は図4(a)のデータのサンプリング順位 $n$ を示し、電流 $i$ (横軸)を各電流領域に分割して示した。

【0015】一方、ステップS2において3つ以上の電流領域にサンプリングデータがストックされていなかった場合、すなわち所定放電電力量範囲の間にパワー演算可能なサンプリングデータが得られなかった場合にはステップS7へ進んで $N=N+1$ とする。ここで、 $N$ はステップS1~S3までの処理を何回行ったかを示す変数であり、初期値は零である。ステップS8では処理回数が規定回数以上となったか否かを判断するステップであり規定回数より小であるならばステップS1へ戻り、規定回数以上の場合にはステップS9へ進んで本発明の方法による $P_{max}$ 、 $PC_{max}$ の算出を行うパワー(最大放電電力)演算補償の処理を実行する。このパワー演算補償の処理は上述した2つの方法のいずれかで行われる。ステップS9の処理が終了して $P_{max}$ 、 $PC_{max}$ が終了した

ならばステップS10に進んで変数 $N$ を零にリセットし、ステップS5へ進む。

【0016】ステップS5では、算出した最大放電電力 $P_{max}$ と最大充電電力 $PC_{max}$ をインバータ12へ出力して走行時の電力が最大放電電力 $P_{max}$ 以下になるように出力制御を行なうとともに、回生時の電力が最大充電電力 $PC_{max}$ 以下になるように回生制御する。その後ステップS6へ進んでストックデータを消去した後、ステップS1へ戻る。コントローラ16は電気自動車の運行中はこの処理を繰り返し実行する。

【0017】次いで、ステップS5の出力制御および回生制御、すなわち、出力制限制御および回生制限制御について説明する。まず最初に出力制限制御について説明する。算出された最大放電電力 $P_{max}$ は多少の誤差を含むことがあり、車両の走行パターンに応じて最大出力が要求され、最大放電電力 $P_{max}$ まで放電を行なった時に最大放電電力 $P_{max}$ に誤差があると端子電圧 $V$ が放電終止電圧 $V_{min}$ を下回ってしまうおそれがある。そこで、図5に示すように、端子電圧 $V$ が予め定められた基準電圧 $V1$ 以下になった時に制限係数 $K$ により最大放電電力 $P_{max}$ を補正して出力制限を行なう。この出力制限は所定時間 $T2$ ごとに繰り返し、端子電圧 $V$ が基準電圧 $V1$ 以上になるまで行なう。図5において、時刻 $t1$ で放電を開始し、放電電力が最大放電電力 $P_{max}$ を超えたとする。端子電圧 $V$ が基準電圧 $V1$ 以下になった時刻 $t2$ で、制限係数 $K$ を1から $k$ に更新する。制御遅延時間 $T1$ 後の時刻 $t3$ で、最大放電電力は $k \cdot P_{max}$ に制限される。この結果、放電電流 $I$ が減少し、端子電圧 $V$ が増加する。

【0018】時刻 $t2$ から $T2$ 時間後の時刻 $t4$ において、端子電圧 $V$ と基準電圧 $V1$ を比較し、 $V < V1$ であれば制限係数 $K$ を更新して出力を制限し、 $V \geq V1$ であれば制限係数 $K$ および最大放電電力 $P_{max}$ を変更しない。この例では、時刻 $t4$ で $V < V1$ であるから、制限係数 $K$ を $k^2$ とする。制御遅延時間 $T1$ 後の時刻 $t5$ で、最大放電電力が $k^2 \cdot P_{max}$ に制限され、放電電流 $I$ が減少し、端子電圧 $V$ が増加する。次に、時刻 $t4$ から $T2$ 時間後の時刻 $t6$ においても、 $V < V1$ であるから制限係数 $K$ を $k^3$ に更新する。制御遅延時間 $T1$ 後の時刻 $t7$ で、最大放電電力が $k^3 \cdot P_{max}$ に制限される。その結果、放電電流 $I$ が減少し、端子電圧 $V$ が増加する。時刻 $t6$ から $T2$ 時間後の時刻 $t8$ では、端子電圧 $V$ が基準電圧 $V1$ よりも高く、したがって制限係数 $K$ を更新しない。

【0019】放電開始直後の時刻 $t1$ から $t8$ までの期間は、放電電力がオーバーシュートし、最大放電電力 $P_{max}$ が $T2$ 時間ごとに頻繁に制限されている。上述したように、この放電開始直後の放電電力のオーバーシュートは最大放電電力 $P_{max}$ の演算誤差に起因するものである。一方、定常状態になった時刻 $t9$ において、ふたた

び $V < V1$ が検出され、制限係数 $K$ が $k^4$ に更新される。時刻 $t_9$ の制御遅延時間 $T1$ 後の時刻 $t_{10}$ で、最大放電電力が $k^4 \cdot P_{max}$ に制限され、放電電流 $I$ が減少し、端子電圧 $V$ が増加する。この定常状態における放電電力の超過は、上述したように長時間にわたって放電が継続したためである。時刻 $t_{12}$ において放電モードから回生充電モードに切り換えると、端子電圧 $V$ は急激に上昇し、この時点において制限係数 $K$ を1にリセットする。

【0020】なお、基準電圧 $V1$ は、

【数6】 $V1 \geq V_{min} \dots (6)$

を満たす任意の値を選択することができる。また、出力制限処理の繰り返し時間 $T2$ は制御遅延時間 $T1$ よりも長い時間とし、定数 $k$ は放電電力のオーバーシュートが所定の収束時間内に0になる最適な値を設定する。

【0021】図6は出力制限制御を行うための処理を示すフローチャートである。ステップ $S21$ において、端子電圧 $V$ を基準電圧 $V1$ と比較し、 $V < V1$ であればステップ $S22$ へ進み、 $V \geq V1$ であればステップ $S28$ へ進む。 $V \geq V1$ の時は、ステップ $S28$ で電流 $I$ が負か、すなわち放電モードから回生充電モードに切り換わったかどうかを確認する。放電モードのままであればステップ $S21$ へ戻り、回生充電モードに切り換わるとステップ $S27$ へ進む。ステップ $S27$ では、出力制限回数を示す変数 $n$ に0を設定して処理を終了する。一方、 $V < V1$ の時は、ステップ $S22$ で出力制限回数を示す変数 $n$ をインクリメントする。なお、変数 $n$ の初期値は0である。

【0022】ステップ $S23$ で制限係数 $K$ を設定する。第1回目の出力制限時には $n=1$ であるから、制限係数 $K$ は $k$ である。ステップ $S24$ で、演算された最大放電電力 $P_{max}$ に制限係数 $K$ を乗じて補正する。ステップ $S25$ では、タイマーに $T2$ 時間を設定してスタートさせる。この $T2$ 時間は、図6で説明した出力制限制御の繰り返し時間である。ステップ $S26$ で、電流 $I$ が負か、すなわち放電モードから回生充電モードに切り換わったかどうかを確認し、回生充電モードに切り換わったらステップ $S27$ へ進み、変数 $n$ に0を設定して処理を終了する。一方、放電モードが継続している時はステップ $S29$ へ進み、タイマーがタイムアップして $T2$ 時間が経過したかどうかを確認する。 $T2$ 時間が経過したらステップ $S21$ へ戻り、上記処理を繰り返す。

【0023】次いで、回生制限制御について説明する。走行時と同様に回生充電時においても、車両の走行パターンによっては最大充電電力 $PC_{max}$ を越える回生電力が発生することがある。最大充電電力 $PC_{max}$ は放電電流の立ち上がりから比較的短時間の間にサンプリングされたデータに基づいて演算された電力であり、短時間に回生充電可能な電力ということができる。算出された最大充電電力 $PC_{max}$ は多少の誤差を含むことがあり、車両の走行パターンに応じて最大回生ブレーキ力が要求さ

れ、最大充電電力 $PC_{max}$ で充電を行なった時に、最大充電電力 $PC_{max}$ に誤差があるとその分だけ端子電圧 $V$ が許容最大電圧 $V_{max}$ を越えてしまう。

【0024】そこで、図7に示すように、端子電圧 $V$ が基準電圧 $V2$ を越えた時に制限係数 $J$ により最大充電電力 $PC_{max}$ を補正して回生制限を行なう。この回生制限は所定時間 $T2$ ごとに繰り返し、端子電圧 $V$ が基準電圧 $V2$ 以下になるまで行なう。図7において、時刻 $t_1$ で回生充電を開始し、充電電力が最大充電電力 $PC_{max}$ を越えたとする。端子電圧 $V$ が基準電圧 $V2$ を越えた時刻 $t_2$ で、制限係数 $J$ を1から $j$ に更新する。制御遅延時間 $T1$ 後の時刻 $t_3$ で、最大充電電力 $PC_{max}$ が $j \cdot PC_{max}$ に制限される。この結果、充電電流 $I$ および端子電圧 $V$ が減少する。時刻 $t_2$ から $T2$ 時間後の時刻 $t_4$ において、端子電圧 $V$ と基準電圧 $V2$ を比較し、 $V > V2$ であれば制限係数 $J$ を更新して出力を制限し、 $V \leq V2$ であれば制限係数 $J$ および最大充電電力 $PC_{max}$ を変更しない。この例では、時刻 $t_4$ で $V > V2$ であるから、制限係数 $J$ を $j^2$ とする。制御遅延時間 $T1$ 後の時刻 $t_5$ で、最大充電電力が $j^2 \cdot PC_{max}$ に制限され、充電電流 $I$ および端子電圧 $V$ が減少する。次に、時刻 $t_4$ から $T2$ 時間後の時刻 $t_6$ においても、 $V > V2$ であるから制限係数 $J$ を $j^3$ に更新する。制御遅延時間 $T1$ 後の時刻 $t_7$ で最大充電電力が $j^3 \cdot PC_{max}$ に制限され、放電電流 $I$ および端子電圧 $V$ が減少する。時刻 $t_6$ から $T2$ 時間後の時刻 $t_8$ では、端子電圧 $V$ が基準電圧 $V2$ よりも低く、したがって制限係数 $J$ を更新しない。

【0025】回生充電開始直後の時刻 $t_1$ から $t_8$ までの期間は、充電電力がオーバーシュートし、最大充電電力 $PC$ が $T2$ 時間ごとに頻繁に制限されている。上述したように、この回生充電開始直後の充電電力のオーバーシュートは最大充電電力 $PC_{max}$ の演算誤差に起因するものである。一方、定常状態になった時刻 $t_9$ において、ふたたび $V > V2$ が検出され、制限係数 $J$ が $j^4$ に更新される。制御遅延時間 $T1$ 後の時刻 $t_{10}$ で、最大充電電力が $j^4 \cdot PC_{max}$ に制限され、充電電流 $I$ および端子電圧 $V$ が減少する。この定常状態における充電電力の超過は、上述したように長時間にわたって充電が継続したためである。時刻 $t_{12}$ において回生充電モードから放電モードに切り換えると、端子電圧 $V$ は急激に低下し、この時点において制限係数 $J$ を1にリセットする。

【0026】なお、基準電圧 $V2$ は、

【数7】 $V2 \leq V_{max} \dots (7)$

を満たす任意の値を選択することができる。また、回生制限処理の繰り返し時間 $T2$ は制御遅延時間 $T1$ よりも長い時間とし、定数 $j$ は充電電力のオーバーシュートが所定の収束時間内に0になる最適な値を設定する。

【0027】上述した出力制限制御と回生制限制御では、同一の時間間隔 $T2$ で制限処理を行なう例を示したが、出力制限と回生制限においてそれぞれ別個の時間間

隔でそれぞれの制限処理を行なうようにしてもよい。

【0028】図8は上述した回生制限制御を説明するための処理を示すフローチャートである。ステップS31において、端子電圧Vを基準電圧V2と比較し、 $V > V2$ であればステップS32へ進み、 $V \leq V2$ であればステップS38へ進む。 $V \leq V2$ の時は、ステップS38で電流Iが正か、すなわち回生充電モードから放電モードに切り換わったかどうかを確認する。回生充電モードのままであればステップS31へ戻り、放電モードに切り換わるとステップS37へ進む。ステップS37では、回生制限回数を示す変数mに0を設定して処理を終了する。

【0029】一方、 $V > V2$ の時は、ステップS32で回生制限回数を示す変数mをインクリメントする。なお、変数mの初期値は0である。ステップS33で制限係数Kを設定する。第1回目の出力制限時には $m=1$ であるから、制限係数Jはjである。ステップS34で、演算された最大充電電力PCmaxに制限係数Jを乗じて補正する。ステップS35では、タイマーにT2時間を設定してスタートさせる。このT2時間は、図7で説明した回生制限制御の繰り返し時間である。ステップS36で、電流Iが負か、すなわち回生充電モードから放電モードに切り換わったかどうかを確認し、放電モードに切り換わったらステップS37へ進み、変数mに0を設定して処理を終了する。一方、回生充電モードが継続している時はステップS39へ進み、タイマーがタイムア

$$Wh(P) = Wh_0(P/\alpha)$$

$$= a(P/\alpha)^3 + b(P/\alpha)^2 + c(P/\alpha) + d \quad \dots (9)$$

図9(b)の曲線L3のようになる。図からも分かるように $\alpha$ はパワーに対する比例分であって、温度補正式のP切片Prefは $Pref = P0 \times \alpha$ となる。なお、 $\alpha$ は電池の内部抵抗変化を表すパラメータであり、温度に応じたテーブル参照値である。また、P0は式(8)のP切片である。

$$Wh(P) = Wh_0(P/\alpha r) \times \beta$$

$$= a\beta(P/\alpha r)^3 + b\beta(P/\alpha r)^2 + c\beta(P/\alpha r) + d\beta \quad \dots (10)$$

ここで、 $r$ は電池の内部抵抗変化を、 $\beta$ は電気容量変化を表すパラメータであり、 $\beta = r$ を基本とするが、実際には温度に応じた補正係数 $\eta$ (テーブル参照値)を用いて、または、 $\beta$ と $r$ の相関関係を $\eta$ として $\beta = r \times \eta$ で与えられる。式(10)で表される $Wh(P)$ は図9(c)の曲線L4のようになる。なお、上述した方法は放電電力量と最大放電電力との間に上記のような相関があれば適用可能であり、鉛酸、Ni-MHなどの電池種を問わず使用できる。ただし、温度補正、劣化補正をどの係数( $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $r$ )に当てはめるかについては各電池毎に検討をする必要がある。

【0034】ここで、劣化補正係数 $r$ の算出方法について説明する。劣化補正係数 $r$ は、電池の満充電定義区間

アップしてT2時間が経過したかどうかを確認する。T2時間が経過したらステップS31へ戻り、上記処理を繰り返す。

【0030】[Wh-P特性の温度補正および劣化補正] 上述したように、IV特性を直線回帰して最大放電電力Pmax、最大充電電力PCmaxをパワー演算により算出できない場合には、Wh-P特性を表す特性式 $Wh(P)$ やWh-P特性テーブルに基づいてPmax、PCmaxを算出したが、これら特性式 $Wh(P)$ やWh-P特性テーブルに電池の温度補正および劣化補正を施すことにより、より正確なPmax、PCmaxを算出することができ、以下では、これら温度補正および劣化補正について説明する。

【0031】図9(a)~9(c)は温度補正および劣化補正を説明する図であり、特性式 $Wh(P)$ を示している。図9(a)の曲線L2は初期電池の特性から求められる初期特性式 $Wh_0(P)$ を示す。ここで、 $Wh_0(P)$ が次式(8)で近似することができるリチウムイオン電池の場合について説明する。

【数8】

$$Wh_0(P) = aP^3 + bP^2 + cP + d \quad \dots (8)$$

【0032】次に、図9(b)に示すように式(8)に対して温度補正を行う。初期特性式 $Wh_0(P)$ に対する温度補正係数を $\alpha$ とすると、温度補正後の式は次式(9)のように表され、

【数9】

【0033】さらに、温度補正された式(9)に対して式(10)で表されるような劣化補正を行うことによって、温度補正および劣化補正が行われた関係式 $Wh(P)$ が求められる。

【数10】

(図9(c)のEで示す区間)においてパワー演算値が得られる度に次式(11)を用いて演算し、バックアップメモリ(例えば、EEPROM)に蓄積しておく。

【数11】

$$r = P_{ful} / Pref = P_{ful} / (P0 \times \alpha) \quad \dots (11)$$

ここで、Pfulは満充電定義区間で得られたパワー演算値の平均値である。蓄積した複数の演算値の平均処理を行い、さらに前回劣化補正式を算出したときに得た $r$ の値との平均を算出し更新する。

【0035】[WhRにおけるパワー演算方式とWh積算方式の併用] 上述した最大放電電力Pmaxおよび最大充電電力PCmaxを算出する方法では、放電電力積算量WhRと特性式 $Wh(P)$ またはWh-P特性テーブル

に基づいて $P_{\max}$ 、 $PC_{\max}$ を求めた。ところで、放電電力量を算出する方法としては、上述したような $WhR$ を求める $Wh$ 積算方式および特性式 $Wh(P)$ を用いたパワー演算方式がある。そして、 $Wh$ 積算方式では放電電力測定時の電流、電圧誤差の累積が誤差の要因となるため、 $Wh$ 演算値が大きくなるにつれて（すなわち放電深度 $DOD$ が深くなるにつれて）誤差が大きくなり、一方、パワー演算方式の場合には、 $Wh$ 演算値が小さい（放電深度が浅い）ところで誤差が大きく、 $Wh$ 演算値が大きくなるにつれて誤差が小さくなる。そこで、パワー演算方式と $Wh$ 積算方式を併用し、放電深度 $DOD$ に応じて誤差の小さい方に重み付けすることにより放電電力積算量 $WhR$ の誤差を小さくすることができる。その結果、算出される最大放電電力 $P_{\max}$ および最大充電電力 $PC_{\max}$ の精度が向上するという利点がある。

【0036】パワー演算方式と $Wh$ 積算方式とを併用して放電電力量を算出する際には、重み付けや切り換えの要因として以下の2つの要因が考えられる。1つ目の要因はパワー演算方式を用いた場合の誤差に関係しており、図10を用いて説明する。パワー演算方式では、電池の電流変化を捉えて電流 $I$ および電圧 $V$ を測定し、測定した複数の $I$ 、 $V$ から図10(a)に示すように $I$ - $V$ 特性を一次回帰演算してその回帰直線と放電終止電圧 $V_{\min}$ との交点からその時の電池の最大出力 $P_{\max}$ を算出する。そのため、電圧 $V$ に $\pm \Delta V$ の誤差が生じると図10(b)のように回帰直線から得られる電流 $I_{\max}$ に誤差 $\pm \Delta I_{\max}$ が生じることになり、その結果、最大出力 $P_{\max}$ に誤差 $\Delta P = V_{\min} \times \Delta I_{\max}$ が生じる。図10(b)において、直線 $B1$ で示される電池の内部抵抗 $R$ は、直線 $B2$ で示される電池の内部抵抗 $R$ より小さく電池性能が良いが、図からもわかるように内部抵抗 $R$ が小さいほど誤差 $\pm \Delta I_{\max}$ が大きくなる。誤差 $\pm \Delta I_{\max}$ が生じると、図10(c)に示すように $Wh-P$ 特性から得られる放電電力にも $\Delta P$ に応じて誤差 $\Delta Wh$ が生じる。ここで、放電深度 $DOD$ が浅い領域 $C1$ でと $DOD$ が深い領域 $C2$ とを比較すると、 $DOD$ が浅い方が誤差 $\Delta Wh$ が大きいことが分かる。

【0037】次に、切り換えに関する2つ目の要因は、電池種によって電池特性が異なることに関係している。図11は図10(c)と同様の特性式 $Wh(P)$ を示す図であるが、(a)はリチウムイオン電池の場合、

$$WhE = WhR \times M(CAPDOD) + Wh(P_{\max}) \times \{1 - M(CAPDOD)\} \quad \dots (13)$$

ここで、重み $M(CAPDOD)$ は放電深度 $CAPDOD$ の関数である。例えば、

$$M(CAPDOD) = 1 - CAPDOD \quad \dots (14)$$

とすれば、図13(a)に示すように重み $M$ は放電深度 $CAPDOD$ が深くなるにつれて1から零へと小さくなり、図13(b)のように実効放電電力量 $WhE$ は $Wh$

(b)は鉛酸電池の場合を表したものである。なお、わかりやすいように横軸を $DOD$ で示した。図7(a)のリチウムイオン電池の場合には最大放電電力と放電深度 $DOD$ (放電電力量 $Wh(P)$ )とが一對一で対応しているが、図10(b)の鉛酸電池の場合には、図のような放電電力 $P_i$ では二つの放電深度 $DOD$ (放電電力量 $Wh(P)$ )が対応している。そのため、リチウムイオン電池のような特性を有する電池では放電深度 $DOD$ の全域でパワー演算方式が使用可能であるが、鉛酸電池のように図11(b)のような特性を有する電池では $DOD$ が図の $F$ より深くなったところ( $F$ より図示右側)でしかパワー演算方式が使えない。よって、パワー演算方式と $Wh$ 積算方式を併用する際には、放電深度 $DOD$ が浅い領域では $Wh$ 積算方式の割合を大きくし、逆に、放電深度 $DOD$ が深くなる放電末期にはパワー演算方式の割合を大きくする。

【0038】なお、ここで放電深度 $CAPDOD$ を次式(12)で定義し、以下の説明ではこの放電深度 $CAPDOD$ を用いて説明する。

【数12】

$$CAPDOD = WhR / Wh(P_{\min}) \quad \dots (12)$$

式(12)において、 $WhR$ は放電電力積算量、 $Wh(P_{\min})$ は電池のフル容量であって車両として最低限必要な最低保証出力 $P_{\min}$ を保証できる絶対容量であり、 $Wh(P_{\min})$ は特性式 $Wh(P)$ に $P_{\min}$ を代入した値である。図12は、電池の残存容量を示す残存容量計の原点(EMPTY)と $CAPDOD$ との関係を示す図である。放電電力積算量 $WhR$ が大きくなるにつれて $CAPDOD$ は0%から増加する。そして、 $CAPDOD$ が100%になる前に残存容量計はEMPTYを表示する。この時点で、車両は出力が $P_{\min}$ となる $CAPDOD$ 100%まで走行可能である。すなわち、残存容量計がEMPTYを表示しても図に示す $\Delta Wh$ だけの余裕を備えている。

【0039】上述したように2つの方式へ重み付けをした場合、 $Wh$ 積算方式で求められた放電電力積算量 $WhR$ とパワー演算方式で算出された演算放電電力量 $Wh(P_{\max})$ とを併用して算出される実効放電電力量 $WhE$ は次式(13)のように表される。

【数13】

$R$ から $Wh(P_{\max})$ へと移行する。また、図13

(c)は所定の放電深度 $CAPDOD$ で $Wh$ 積算方式からパワー演算方式に切り換えた場合の $CAPDOD$ と $M(CAPDOD)$ の関係を示したものである。

【0040】このようにして得られた実効放電電力量 $WhE$ を式(5)の $WhR$ の代りに用いる。ただし、演算放電電力量 $Wh(P_{\max})$ はパワー演算によって算出さ



れる量であるため、一定速走行時のようにパワー演算が行えない領域では、その領域のみWh積算方式で放電電力積算量WhRを算出する。図14(a)はその一例を示す特性式Wh(P)の図であり、領域D1およびD3ではパワー演算可能で領域D2ではパワー演算不可能であると仮定する。そこで、図13(a)で示すような重みMの代りに図14(b)で示すような重みMを用いる。図14(b)では、図14(a)の領域D1、D2、D3に対応する放電深度CAPDODの領域はそれぞれD1'、D2'、D3'であり、領域D2'では重みMは1となり式(13)のWhEは次式(15)となる。

$$\text{【数15】 } WhE = WhR \quad \dots (15)$$

【0041】以上説明した発明の実施の形態と特許請求の範囲の要素との対応において、特性式Wh(P)およびWh-P特性テーブルは相関関係に対応している。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による最大放電電力Pmaxの算出方法を説明する図。

【図2】電気自動車の走行駆動機構の構成を示すブロック図。

【図3】コントローラ16の処理を示すフローチャート。

【図4】コントローラ16の動作を説明する図であり、(a)はサンプリングデータのストック方法を説明する図、(b)は(a)のデータによる回帰直線を示す図。

【図5】出力制限制御を説明する図。

【図6】出力制限制御の処理を示すフローチャート。

【図7】回生制限制御を説明する図。

【図8】回生制限制御の処理を示すフローチャート。

【図9】温度補正および劣化補正を説明する図であり、(a)は初期特性式を示し、(b)は温度補正をした場

合、(c)は(b)に加えて劣化補正をした場合をそれぞれ示す。

【図10】パワー演算方式とWh積算方式の併用を説明する図であり、(a)は回帰直線を示し、(b)および(c)は誤差の発生を説明する図。

【図11】Wh-P特性を説明する図であり、(a)はリチウムイオン電池の場合を、(b)は鉛酸電池の場合を示す。

【図12】放電深度CAPDODと残存容量計の原点(EMPTY)との関係を示す図。

【図13】平均処理を説明する図であり、(a)は放電深度CAPDODと重みMとの関係を示し、(b)はWhEの変化を定性的に示す図、(c)は放電深度CAPDODと重みMとの関係の他の例を示す。

【図14】パワー演算方式とWh積算方式の併用の一例を示す図であり、(a)は特性式Wh(P)を示し、(b)は重みMを示す図である。

【図15】直線回帰演算を説明する図。

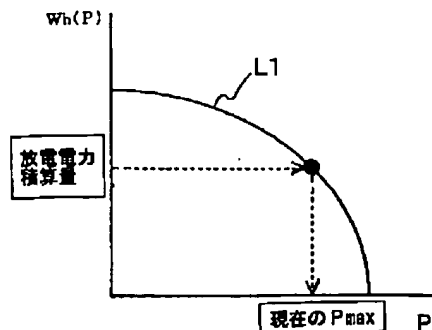
【図16】回帰演算可能な場合を説明する図であり、(a)は端子電圧Vおよび放電電流Iの時間的変化を示し、(b)は(a)の場合の回帰直線を示す。

【図17】回帰演算不可能な場合を説明する図であり、(a)は端子電圧Vおよび放電電流Iの時間的変化を示し、(b)は(a)の場合の回帰直線を示す。

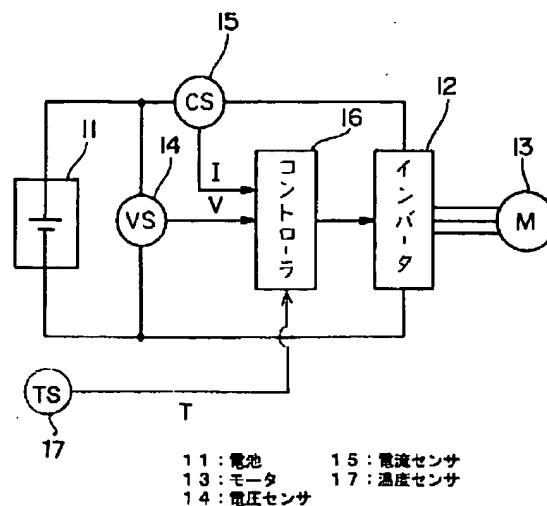
【符号の説明】

- 11 電池
- 12 インバータ
- 13 モータ
- 14 電圧センサ
- 15 電流センサ
- 16 コントローラ
- 17 温度センサ

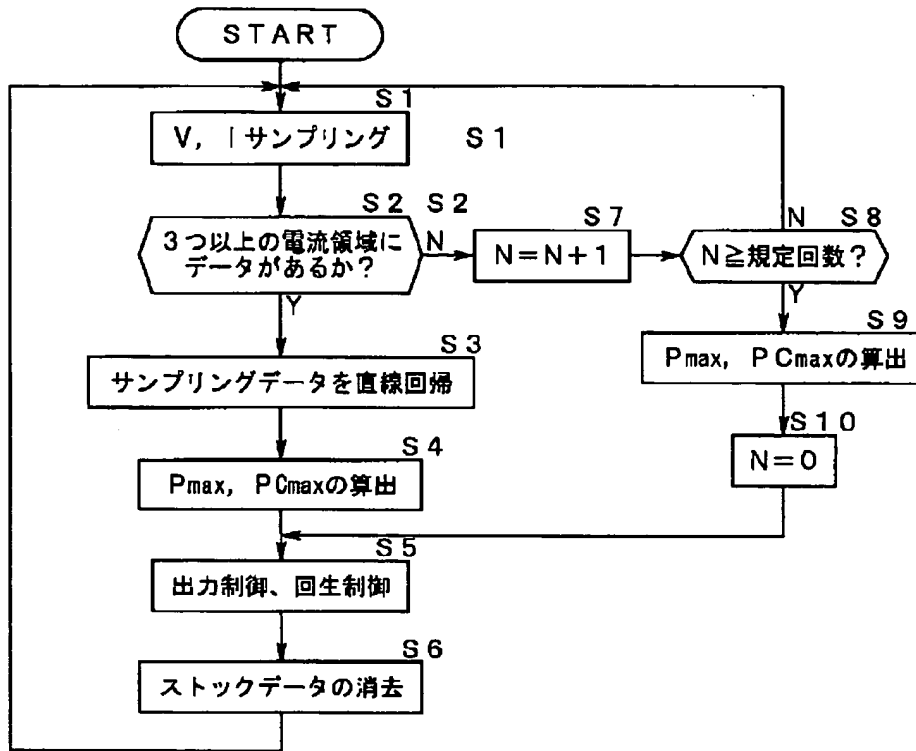
【図1】



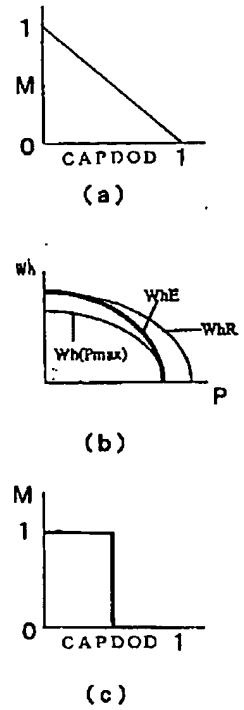
【図2】



【図3】



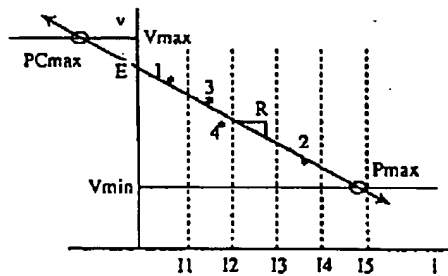
【図13】



【図4】

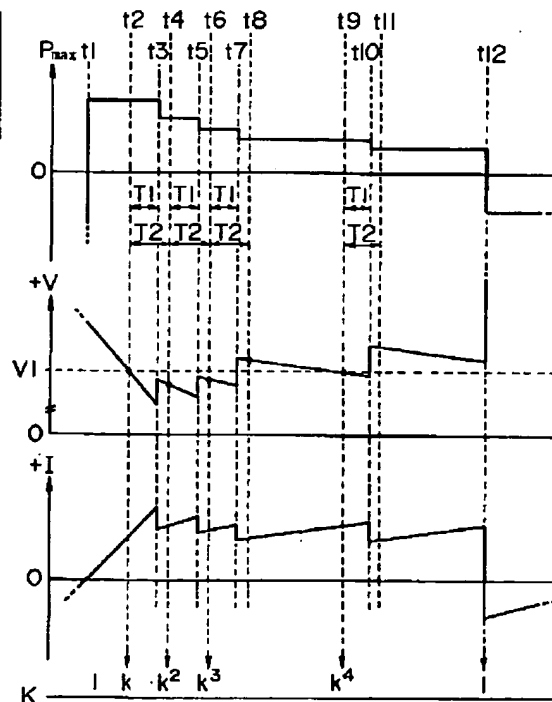
No.	~ I1	~ I2	~ I3	~ I4	I5 ~
1	i1, v1	i3, v3		i2, v2	
2		i4, v4			
3					

(a)

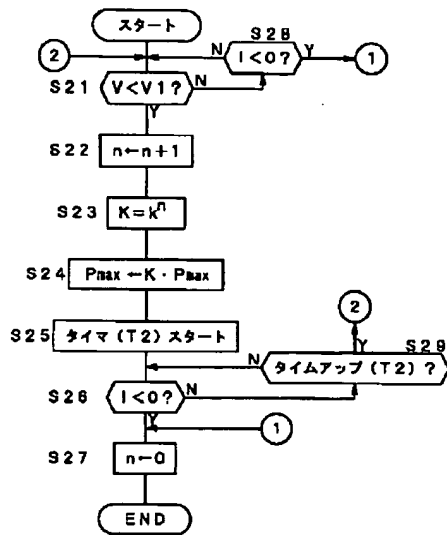


(b)

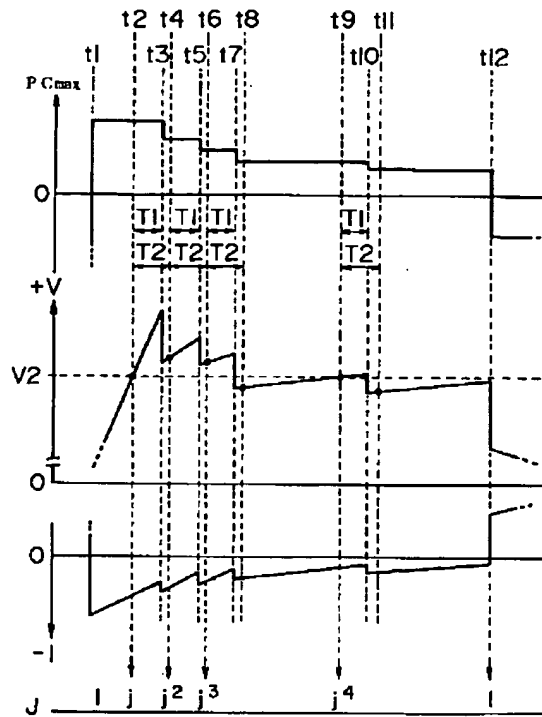
【図5】



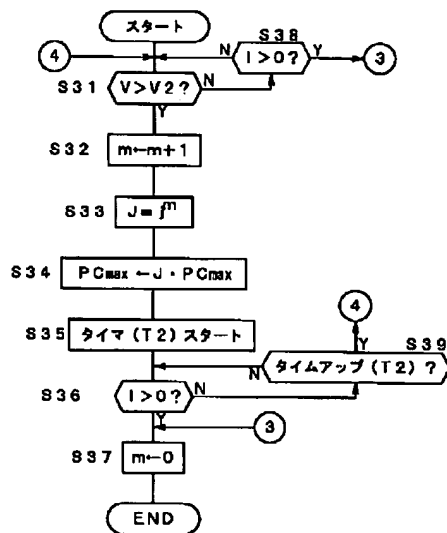
【図6】



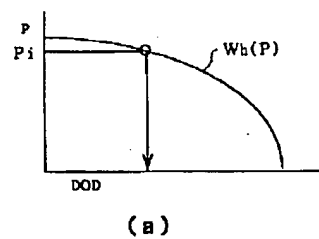
【図7】



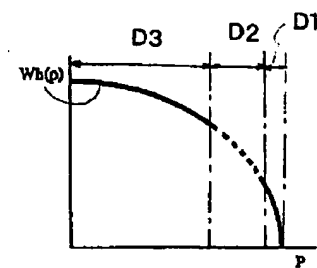
【図8】



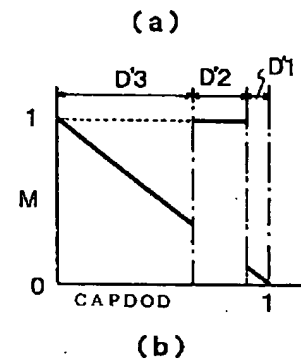
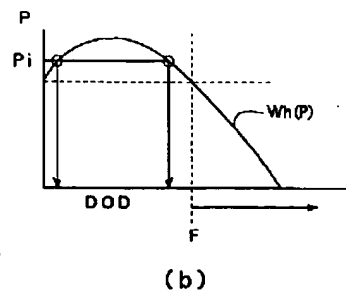
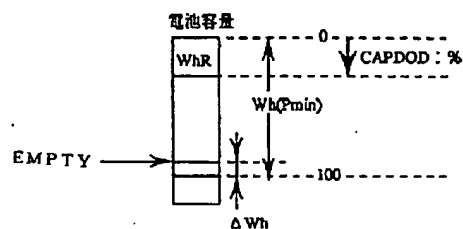
【図11】



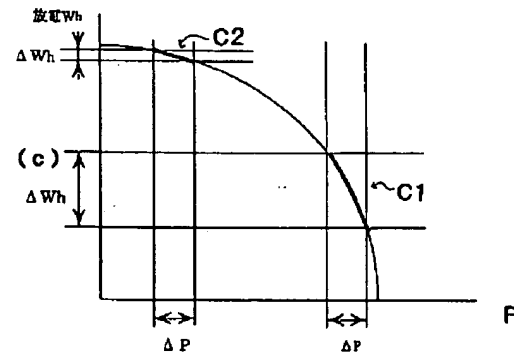
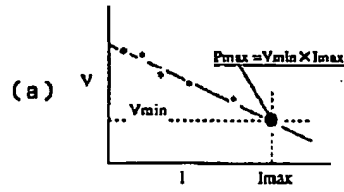
【図14】



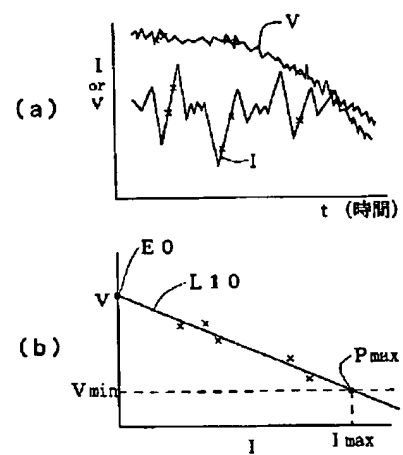
【図12】



【図10】



【图16】



【図17】

